

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 桑水流 理

本論文は「平織布の擬似連続体モデルの開発と有限要素定式化に関する研究」と題し、全6章からなる。

平織布は、その柔軟さに由来する成形性の高さや軽量な特質を生かして、古くは膜構造材として多用され、また近年では人工靱帯等の人工生体材料としての利用も進められている。さらには、経糸と緯糸の材料定数を独立に変更でき、またその織り構造が一種の高靱化機構となるため、複合材料の補強材としても将来性の高い材料である。しかしながら、その信頼性を担保し得る解析手法が確立しているとは言い難い。その主たる原因は、糸の相互作用に起因する機構的あるいは構造的な大変形を、通常の連続体力学では記述し得ないことにある。本研究では、その問題点を克服するため、平織布独自の非連続性と非均質性を採り込んで均質化する擬似連続体モデルの提案と、そのモデルに基づいた有限要素の定式化を行っている。

第1章「序論」では、平織布をはじめとするテキスタイル材料と、それを補強材とする複合材料について、構造部材としての特質を概観し、過去に行われた理論的および数値的解析方法を俯瞰的にまとめている。それらを受けて、平織布の解析に関する要諦をまとめるとともに、本研究の目的と意義を明確にし、本論文の構成を示している。

第2章「平織布の弾性理論」では、平織布の擬似連続体モデル化の理論展開を行っている。平織布は経糸と緯糸により構成されるため本質的に非連続であり、その相互作用に起因する非線形挙動を呈する。既往の解析手法では、糸の非連続性に起因する非線形挙動を便宜的に均質化し、非線形構成則を介してモデル化することが行われてきた。その方法では平織布の強非線形挙動を十分には記述し得ず、また信頼性解析に繋がる個々の糸の力学状態を評価できない。しかしながら計算負荷の観点からは、連続体力学に準ずる方法論から逸脱することは現実的でない。そのために、まず平織布の経糸と緯糸の相対変位に基づく微視的な変形を分類し、それぞれについて幾何学的関係および力学的関係を考究することで、擬似連続体モデル化の基本式を導いている。その際に、糸のうねり状態を表すうねり係数を変数として新たに導入することで、本質的には非連続な糸相互の変形を連続体力学に準ずる形で記述することが可能となった。

第3章「平織有限要素」では、擬似連続体モデル化の基礎式に基づく有限要素定式を導出している。提案した擬似連続体モデルは、うねり係数の導入と独自のひずみ-変位関係に起因する非線形問題を構成する。しかしながら、その構成は通常の幾何学的非線形問題と類似であり、既往の方法論から大きく外れることなく有限要素定式化が可能である。本章ではさらに、開発した有限要素による解析に付随して発生する問題点を明らかにし、その対処方法まで示している。

第4章「平織有限要素の数値的座屈現象とその対処法」では、平織布の特徴の一つである大きな伸展変形の解析にあたって発生する問題点の解決策を示している。すなわち、伸展変形に伴う糸の横引張りひずみが過大となった場合、そのひずみを緩和するためにずれ変形が発生し、その結果としてさざなみ状の変形様式が現れる数値的座屈現象を生じる。その発生機構が両糸の接触問題に関するモデル化の不備にあること数値計算例を通じて明らかにし、モデルを改良することで問題点の克服を行っている。

第5章「数値計算例」では、平織布特有の力学挙動が提案した有限要素により適切に解析可能であることを示すため、4例題を設定して解析結果について考察している。第1の例題は見かけのポアソン比の解析である。通常の連続体と異なり、平織布の巨視的ポアソン比は1あるいはそれ以上の値となることが知られている。本例題では、うねり係数の変化についても考察した上で、開発した有限要素によれば妥当な解析が行い得ることを示した。第2の例題は糸に沿った二軸引張の解析であり、この問題では平織布特有の現象として、比例負荷に対してひずみが反転することが実験的にも確認されている。そのような通常の連続体モデルでは表現不可能な挙動も、提示の有限要素によれば容易に解析できることを示している。第3の例題は一様強制変位による単軸引張の問題であり、別途行った実験結果との良好な一致とあわせて、開発した有限要素の有効性を示している。第4の例題は純粹せん断問題であり、平織布に特有のせん断型大変形を解析するに際し、開発した有限要素の限界を明らかにしている。

第6章「結論」では、本論文で得られた成果を総括するとともに、提案した擬似連続体モデルと有限要素に関する発展可能性を論じている。

以上要するに、本論文は平織布の擬似連続体モデルとその有限要素定式化を新たに提案したものであり、平織材料の解析に関する新たな方法論を拓くものである。この点において本論文の工学的意義が認められ、将来性有望な平織材料の合理的信頼性解析に寄与するところが大きいものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格であると認められる。